

初期構造異方性を考慮した砂の構成則とその応用に関する研究

著者	鈴木 輝一
号	1599
発行年	1994
URL	http://hdl.handle.net/10097/10406

氏 名	鈴 木 輝 一
授 与 学 位	博 士 (工 学)
学位授与年月日	平成 7 年 3 月 15 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 4 条第 2 項
最 終 学 歴	昭 和 51 年 3 月 東北大学大学院工学研究科土木工学専攻前期課程修了
学 位 論 文 題 目	初期構造異方性を考慮した砂の構成則とその応用に 関する研究
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 柳澤 栄司 東北大学教授 岩熊 哲夫 東北大学教授 三橋 博三 東北大学助教授 岸野 佑次

論 文 内 容 要 旨

首都圏を中心に最近注目を浴びているウォーターフロントの開発に伴って、ウォーターフロントに建設される構造物の安全かつ合理的な設計の必要性から、液状化現象を考慮した地盤と構造物の相互作用の解明が急務となっている。この場合、単純せん断挙動が卓越するような成層地盤と異なり、地盤は構造物との相互作用によって複雑な応力状態になるため、このような複雑な応力条件下での地盤の挙動の把握、ならびに構造物と地盤の相互作用をより正確に予測できる構成則の構築が必要となる。

従来、土の構成則として数多くの構成則が提案されているが、限られた応力条件下、例えば単純せん断状態や通常の三軸応力状態でのみ適用可能であることが多く、種々の複雑な応力状態への適用に際して求められる構成則パラメータの唯一性の議論までには至っていない。それに関わらず、種々の応力状態を示す実際問題に対してそれらの構成則が有限要素解析などによって用いられており、土の要素実験および構成則に関する研究と実際への適用に関する研究とが必ずしも十分には結び付いていないのが現状である。

複雑な応力条件下での地盤の基本的な挙動を検討するにあたり、考慮すべき特性として砂の初期構造異方性がある。一般に砂地盤においては、堆積時に土粒子長軸が水平方向を向き、粒子間接点の分布などに起因して初期構造異方性を有することが多いとされている。それゆえに、初期構造異方性の影響を考慮せずに複雑な応力条件下のせん断挙動特性を把握することは不可能である。

近年、初期構造異方性を有する砂についての実験的研究ならびに構成則の研究が精力的になされ

てきているが、基本的な条件である非共軸性、中間主応力の相対的大きさの考慮、それに繰返し載荷や主応力軸回転などの影響について統一的な解釈が十分にはなされておらず、その結果、地盤の挙動予測のための定量化評価手法も必ずしも確立されているとは言えない状況にある。

本研究の目的は、第一に、砂の初期構造異方性を考慮した排水時せん断挙動特性を把握することにある。特に、従来の研究では十分に明らかにされていない中間主応力の相対的大きさの影響、ならびに繰返し載荷による硬化の影響について評価する。また、主応力軸回転による影響もあわせて統一的に解釈する。

第二には、得られたせん断挙動特性を用いてより汎用的な構成則を提案し、実際の問題すなわち一般的な境界値問題に対して、有限要素法を用いてその構成則の基本的な検証までを行うことにある。

本論文の各章について要約すると次のとおりである。

第1章では、本研究の背景、目的および異方性の定義について述べ、砂地盤の挙動把握のためには、砂の初期構造異方性を考慮することが重要であるということを明らかにした。

第2章では、初期構造異方性を有する砂に関する既往の実験的研究および構成則の研究について整理し、系統立った実験的研究の遂行、ならびにその成果に基づいた汎用的な構成則の構築の必要性を示した。

第3章では、初期構造異方性を有する豊浦標準砂について、大型中空ねじり試験装置を用いた平均応力一定下の主応力軸固定試験および主応力軸回転試験の実験結果について考察し、排水時せん断挙動特性を解明を試みた。

この結果、初期構造異方性および中間主応力の相対的大きさの影響を含めた形で、塑性係数の場の概念による硬化則（図－1）、主偏差ひずみ増分比関係（図－2）、それに最大主ひずみ増分方向の応力増分方向依存性（図－3）に関するユニークな特性を明らかにした。

第4章では、第3章と同様に主応力軸が不連続に90° 変化する繰返し試験ならびに1回転の主応力軸回転試験の実験結果についての考察を行い、単調載荷のみならず除荷を含む範囲での排水時せん断挙動の現象解明を試みた。この結果、偏差応力面上における塑性係数の場の概念ならびに繰返し載荷による硬化を表す正規化塑性仕事量の関数（図－4）を用いることによって、初期構造異方性を有する砂の排水時繰返しせん断挙動を基本的に表せることを明らかにした。

第5章では、第3章および第4章で明かとなったせん断挙動特性を用いることによって、多曲面モデルの構成則の定式化を示すとともに、排水、非排水条件下の中空ねじり試験および非排水簡便三軸試験の要素試験を対象とした3次元有限要素解析によって提案する構成則の基本的な検証（図－5）を示した。

時間微分項が1階である圧密問題や時間微分項が2階である液状化動的問題への解析プログラムの拡張は容易であり、種々の複雑な応力条件下の問題における適用へと発展が可能である。

本研究では、初期構造異方性を有する砂の基本的なせん断挙動特性を把握するとともに、統一的な構成則の大枠を示した。今後の課題としては、構成則の確立という観点から、更に、平均応力、

初期せん断応力などの影響要因についての詳細な挙動把握が必要とされる。また、実験結果の再現性は、構成則構築の上で重要な課題であり、構成則の定量的評価のためにも実験技術の更なる改良も望まれる。

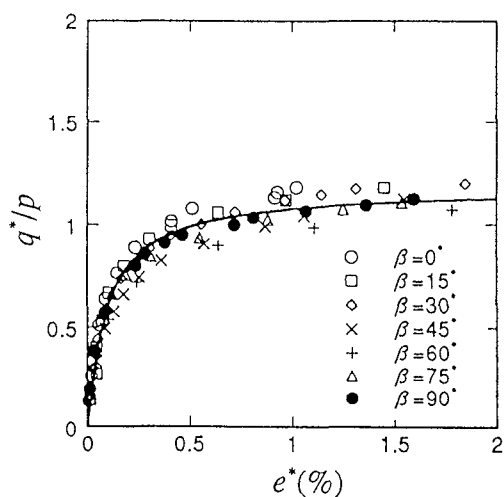


図-1 修正応力比・修正相当ひずみ関係

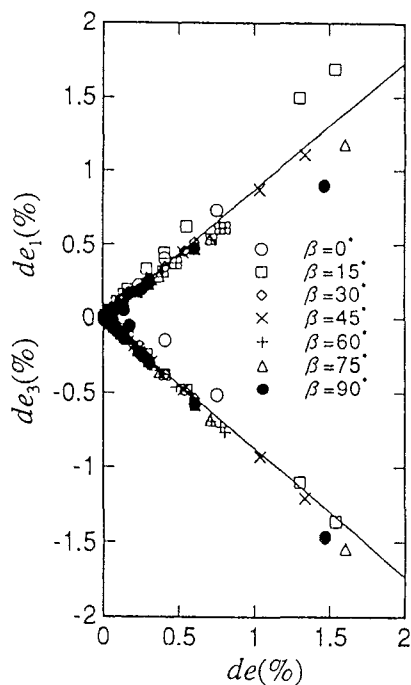


図-2 主偏差ひずみ増分比関係

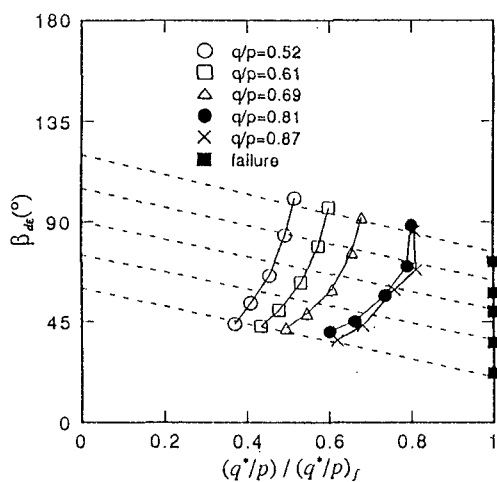


図-3 最大主ひずみ増分方向の応力増分方向依存性

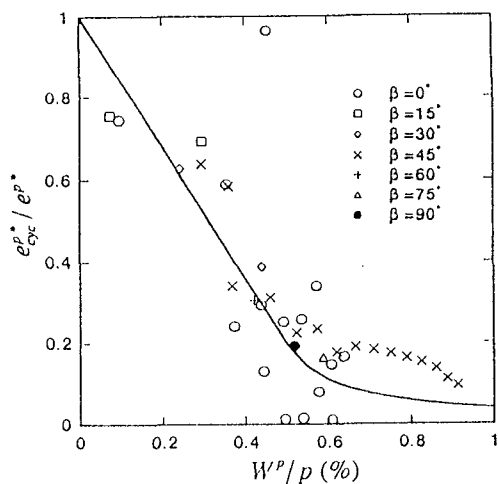
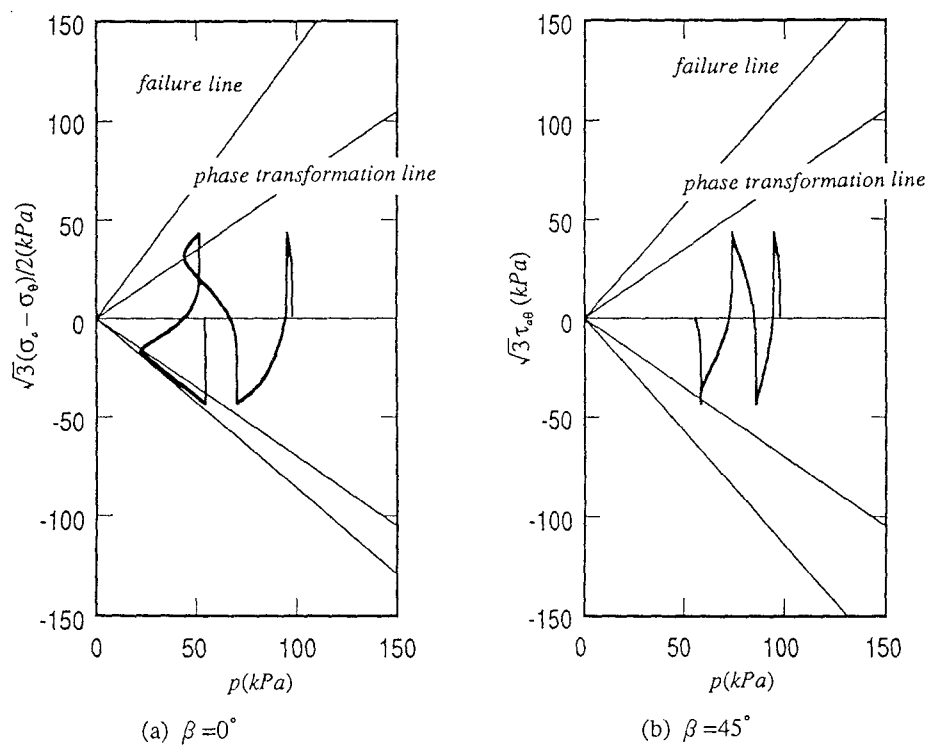


図-4 繰返し载荷による硬化と正規化塑性仕事の関係



図－5　3次元有限要素解析による有効応力経路

審 査 結 果 の 要 旨

自然地盤に堆積した砂は変形・強度特性に異方性があり、地震時における構造物基礎直下の地盤におけるような、複雑な荷重条件での変形特性についてはまだ十分な知見が得られていない状況にある。本論文は、初期構造異方性を有する砂について室内試験を行ない、単調載荷時および主応力軸回転時におけるせん断変形・強度特性を求め、中間主応力の影響など複雑な応力状態における変形挙動を明かにしたものである。また、繰返し載荷時の挙動を求めることにより、これらを統一的に記述できる構成則を提案し有限要素法への適用を示したもので、全編6章よりなる。

第1章は、序論であり、研究の背景と目的を述べている。

第2章では、初期構造異方性を要する砂のせん断特性に関する既往の実験的研究および構成則の研究について概説し、研究の現状と問題点の整理を行なっている。

第3章では、大型中空ねじりせん断試験装置を用いて、初期構造異方性を有する豊浦標準砂について、平均応力一定の条件の下での単調載荷および主応力回転によるせん断試験を行ない、せん断特性に及ぼす中間主応力大きさの影響等について検討を行なっている。この実験結果を用いて、主応力軸固定および回転のいずれかの載荷条件に対しても説明可能な構成則を提案するとともに、これを用いた計算結果と実験値とが良好一致を示すことを述べている。これは、新たな知見である。

第4章では、前章と同様大型中空ねじりせん断試験装置を用いて、主応力軸方向が不連続に 90° 変化する繰返し載荷試験および主応力回転によるせん断試験の結果から、繰返し載荷のせん断変形特性を塑性ひずみを用いて評価する手法を示し、繰返しによる硬化の影響を統一的に解釈できることを示した。これは、有用な知見である。

第5章では、前章までで得られたせん断挙動特性を用いて、有限要素法に適用できる構成則の提案を行なうとともに、有限要素法のための定式化について述べている。さらに、排水時および非排水時の要素試験におけるせん断特性を三次元有限要素法によって計算し、実験値と比較することにより提案した構成則の有効性を確認している。

第6章は、結論である。

以上要するに本論文は、初期構造異方性を有する砂のせん断特性に関して様々な応力条件での室内実験を行なうことにより、複雑な砂の挙動を統一的に表現できる構成則を考案し、それを有限要素法へ適用する方法を示したもので、土木工学および土質工学の進展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。